

LEYBOLD DIDACTIC GMBH

11/95-Sf-

Mode d'emploi **532 14**
Instrucciones de servicio

Amplificateur électromètre
Electrómetro amplificador

L'amplificateur électromètre (gain 1) est un transformateur d'adaptation d'impédance avec entrée de tension à impédance très élevée (≥ 10^{13} Ω) et sortie de tension à impédance très faible (≤ 1 Ω).

Combiné à un voltmètre analogique, à un enregistreur, l'appareil permet les opérations suivantes:

1.1 Mesure quasi-statique de tensions jusqu'à 10 V–.
1.2 Mesure fortement ohmique de tensions de plus de 10 V avec diviseur de tension ohmique constitué de résistances STE
1.3 Mesure quasi-statique de tensions supérieures à 10 V– avec diviseur de tension constitué de condensateurs STE.
2. Avec des résistances STE de 1 MΩ à 10 GΩ comme shunts: mesure de très faibles courants (1 V à la sortie ≙ 10^{-6} A à 10^{-10} A).
3. Avec des condensateurs STE de 10^3 nF à 1 nF: mesure de charges (1 V à la sortie ≙ 10^{-6} As à 10^{-9} As).

Exemples d'expériences:

- Mesure de charges et de tensions en électrostatique.
- Mesure de charges et de tensions sur un condensateur à plateaux (544 22 ou 23); détermination de ε_0
- Mesure de tensions dans des conducteurs liquides: expériences électrochimiques avec une chaîne de mesure monotige; relevé de lignes équipotentielles dans une cuve électrolytique (545 09).
- Ionisation de l'air par gaz enflammés ou rayonnement alpha
- Effet photoélectrique externe (effet Hallwachs).
- Détermination de h avec la cellule photoélectrique (558 77).
- Expérience de Franck-Hertz.

Bibliographie:
Livre: «Electrostatique: charges et champs» Expériences pour éléves et informations pour le professeur (589 173)

1 Remarques de sécurité

- L'appareil est prévu pour une utilisation dans des circuits alimentés par une très basse tension de sécurité:
  - tension continue max. admissible: 60 V
  - tension alternative max. admissible: 25 V
- Une tension supérieure ne peut être admissible qu'à condition d'être sûr, en cas de contact avec des pièces sous tension, qu'elle sera instantanément rabaissée aux valeurs susmentionnées ou à des valeurs encore plus faibles.
  Cela est garanti avec les sources de tension indiquées au paragraphe 3.1.
- Tension alternative d'alimentation max. admissible: 25 V~; optimale: 12 V ~.
- Ne pas appliquer de tension d'origine étrangère à la sortie!
- N'équiper les circuits diviseurs de tension pour la mesure des tensions supérieures à 10 V (cf. paragraphe 3.2.2/3 et fig. 2.2/3) qu'avec les résistances R_2 ou les condensateurs C_2 dont la rigidité diélectrique est suffisante pour la tension appliquée; tenir compte des conseils donnés

El electrómetro amplificador (factor de amplificación 1) es un transformador de impedancias con una entrada de tensión de impedancia extremadamente alta (≥ 10^{13} Ω) y una salida de tensión de impedancia extremadamente baja (≤ 1 Ω).

Conectado a un voltímetro conectado o a un instrumento indicador, o a un registrador, el aparato sirve:

1.1 Para la medición cuasi-estática de tensiones de hasta 10 V–.
1.2 Para la medición de alta impedancia de tensiones de más de 10 V mediante un divisor de tensión óhmico empleando resistencias STE .
1.3 Para la medición cuasi-estática de tensiones de más de 10 V– mediante un divisor de tensión capacitivo empleando condensadores STE .
2. Con resistencias STE de 1 MΩ hasta 10 GΩ como Shunts para la medición de corrientes muy pequeñas (1 V en la salida ≙ 10^{-6} A hasta 10^{-10} A).
3. Con condensadores STE de 10^3 nF hasta 1 nF como medidor de carga (1 V en la salida ≙ 10^{-6} As hasta 10^{-9} As).

Ejemplos de experimentos:

- Medición de carga y tensión en electrostática
- Medición de carga y tensión en el condensador de placas (544 22 ó 23); determinación del coeficiente ε_0
- Medición de tensión en conductores líquidos: estudios electroquímicos con un electrodo de medición; registro de líneas equipotenciales en una celda electrolítica (545 09).
- Ionización del aire por medio de gases de llama o radiación α
- Efecto fotoeléctrico externo (efecto Hallwachs).
- Determinación de h con la celda fotoeléctrica (558 77).
- Experimento de Franck-Hertz

Bibliografía:
Libro "Electrostática 2, Cargas y Campos" (589 176)
Experimentos para los estudiantes con informaciones para el docente

1 Instrucciones de seguridad

- Este aparato está diseñado para ser empleado en circuitos a ser operados con tensiones bajas de protección:
  - tensión continua máx. permitida: 60 V
  - tensión alterna máx. permitida: 25 V
- Se permiten tensiones más altas solo si se ha asegurado que éstas puedan ser reducidas sin retardo, al valor indicado más arriba o menores a este, cuando se hace el contacto de las partes con tensión.
  Ello se garantiza en las fuentes de tensión indicadas en la sección 3.1.
- Tensión alterna de alimentación máxima admisible: 25 V~; óptima: 12 V~.
- ¡A la salida no se debe aplicar ninguna tensión ajena!
- Los circuitos divisores de tensión que sirven para la medición de tensiones de más de 10 V (véase la sección 3.2.2/3 y la Fig. 2.2/3) sólo deberán ser dotados de resistencias R_2 ó condensadores C_2, cuyas resistencia dieléctricas sean suficiente para la tensión aplicada; observar la

aux paragraphes 3.2.2 et 3.2.3 et notamment de l'inscription "650 V" sur le condensateur!
Ne pas utiliser de solvants agressifs mais un chiffon humide pour nettoyer le boîtier encrassé.

recomendación sobre aparatos indicada en las secciones 3.2.2 y 3.2.3. ¡Observar en especial la impresión de "650 V" en el condensador!
Si la carcasa está sucia, no limpiarla con disolventes agresivos (limpiarla solo con un paño húmedo).

2 Description, caractéristiques techniques

2 Descripción y datos técnicos

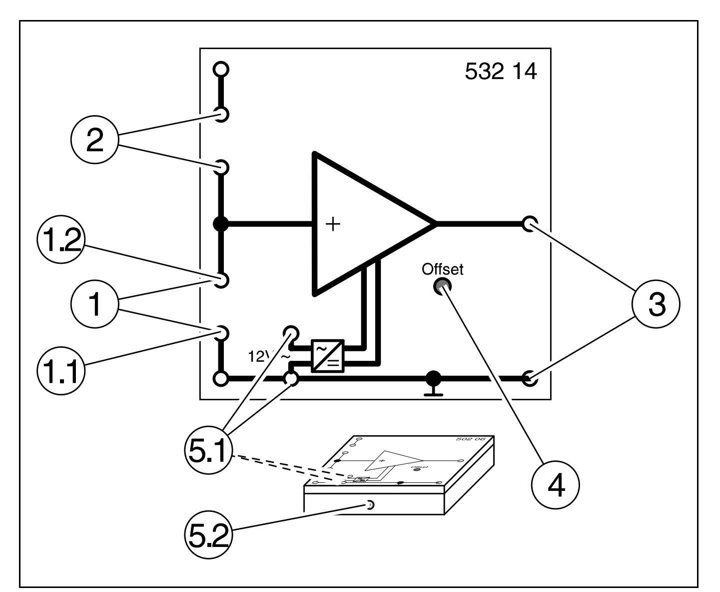


Fig. 1

① Entrée à impédance très élevée de l'amplificateur
Douille (1.1) et douilles internes connectées à la masse comme potentiel de référence, conformément au schéma du circuit;
Douille (1.2) et douilles internes ou externes connectées pour le raccordement du potentiel positif ou négatif de la tension d'entrée (par rapport à la masse)
Ecartement des douilles: 19 mm (pour enficher les résistances et condensateurs STE)

② Entrée auxiliaire (écartement des douilles 19 mm, par ex. pour enficher une résistance de division de tension, un condensateur, une cage de Faraday (546 12) ou la chambre d'ionisation ouverte (cf. fig. 5/6).

③ Sortie à impédance très faible pour raccorder des voltmètres quelconques (gamme de mesure 10 V max.), dans la mesure où ils utilisent un courant de moins de 5 mA, par ex. instruments à cadran, enregistreur XY ou YT.

④ Trimmer pour tension d'offset (activation rarement nécessaire; cf. paragraphe 3.5).

⑤ Douilles de raccordement de la tension alternative d'alimentation (12 V–) d'où vient, après redressement interne, la tension continue nécessaire à l'amplificateur opérationnel.

Entrées (5.1) et (5.2) branchées en parallèle pour une utilisation au choix

(5.1) paire de douilles de 4 mm pour le branchement de la tension par le câble à fiches de 4 mm
(5.2) douille pour fiche creuse de l'adaptateur secteur enfichable 12 V~/20 W (562 791 pour 230 V~ et 562 792 pour 115 V~)

① Entrada de alta impedancia del amplificador. Clavijero (1.1) y clavijeros conectados internamente según el circuito impreso están conectados a tierra como potencial de referencia; clavijero (1.2) y clavijeros conectados interna o externamente para la conexión del potencial positivo o negativo de la tensión de entrada (con respecto a tierra). Distancia entre los bornes: 19 mm (para enchufar resistencias y condensadores STE).

② Entrada auxiliar (distancia entre bornes: 19 mm), por ej. para enchufar una resistencia divisora de tensión o un condensador, un vaso de Faraday (546 12) o la cámara de ionización abierta (véase la Fig. 5/6).

③ Salida de baja impedancia del amplificador para la conexión de voltímetros opcionales (rango de medición máx.: 10 V), siempre que se registre una corriente menor a 5 mA, por ej. para instrumentos indicadores, registradores XY o TY.

④ Potenciómetro de ajuste para tensión Offset (accionamiento por lo general no necesario; véase la sección 3.5).

⑤ Clavijeros de conexión para la tensión alterna de alimentación (12 V~), de la que, mediante rectificación interna, se obtiene la tensión continua necesaria para el funcionamiento del amplificador operacional.
Entradas (5.1) y (5.2) conectadas en paralelo para un empleo opcional

(5.1) Par de clavijeros de 4 mm para conectar la tensión mediante cable con conectores de 4 mm
(5.2) Clavijero para el conector hueco del adaptador de alimentación de 12 V~/20 W (562 791 para 230 V~ ó 562 792 para 115 V~)

Caractéristiques techniques

Gain:	1.00
Résistance d'entrée:	≥ 10^{13} Ω
Courant d'entrée:	≤ 0,5 pA
Capacité d'entrée propre:	≤ 50 pF
Gamme de tension d'entrée:	± 10 V– 1 kV– (par des alimentations) 10 kV– (par des tiges frottées)
Résistance aux surtensions	
Hauteur tension de sortie:	± 10 V– pour une tension d'alimentation de 12 V~
Courant de sortie:	5 mA, résiste en permanence aux courts-circuits
Résistance de sortie:	≤ 1 Ω
Dimensions:	env. 11,5 cm x 11,5 cm x 3 cm
Poids:	0,15 kg

3 Utilisation

Important!
A cause de sa grande sensibilité, il se peut que l'amplificateur électromètre soit perturbé pendant certaines expériences par des influences électrostatiques (par ex. mesure de la charge avec la cage de Faraday, mesure de courants d'ionisation; expérience de Franck-Hertz).

Remède: Relier l'expérimentateur à une douille de masse de l'amplificateur au moyen de la tige de raccordement (532 16) et d'un câble d'expérience; Relier à la terre la borne de mise à la masse.

3.1 Matériel supplémentaire nécessaire

Source de tension 12 V~– pour l'alimentation de l'amplificateur électromètre, par ex.

adaptateur secteur enfichable 12 V~/20 W à fiche creuse (562 791 pour 230 V~ et 562 795 pour 115 V~)

ou
transformateur 6 V/12 V; 30 W — 562 73
ou
alimentation 450 V– — 522 27

Multimètre pour tensions continues ≤ 10 V–, p. ex.

ampèremètre-voltmètre — 531 94
ou
multimètre METRAmax 2 — 531 100
ou
enregistreur par ex. — 575 663

Source de tension continue pour le circuit de mesure dont la tension, le courant et la charge doivent être mesurés; (voir aussi paragraphe 1)

source très basse tension par ex. — 521 35
ou
pour les tensions inoffensives ≥ 42 V:
alimentation 450 V– — 522 27
ou
bâtonnets de friction — 541 00

Tige de raccordement — 532 16

Résistance STE à impédance élevée et condensateur STE cf. paragraphes 3.2 à 3.4.

Datos técnicos

Ganancia	1.00
Impedancia de entrada:	≥ 10^{13} Ω
Corriente de entrada	≤ 0,5 pA
Capacidad de entrada:	≤ 50 pF
Rango de tensión de entrada:	± 10 V– 1 kV– (de fuentes de alimentación) 10 kV– (producida mediante varillas frotadas)
Resistencia a la sobretensión	
Amplitud de la tensión de salida:	± 10 V– con una tensión de alimentación de 12 V~
Corriente de salida:	5 mA, a prueba permanente de cortocircuito
Resistencia de salida:	≤ 1 Ω
Dimensiones:	aprox. 11,5 cm x 11,5 cm x 3 cm
Peso:	0,15 kg

3 Operación

¡Importante!
Debido a la gran sensibilidad de medición del electrómetro amplificador, en algunos experimentos pueden presentarse inducciones perturbadoras (por ej. en la medición de carga con el vaso Faraday; en la medición de corrientes de ionización; en el experimento de Franck-Hertz).

Remedio: Conectar el experimentador con un clavijero de masa del amplificador a través de la varilla de conexión (532 16) y del cable de experimentación; conectar a tierra la conexión a masa.

3.1 Adicionalmente se requiere

Fuente de tensión de 12 V~ para la alimentación del electrómetro amplificador, por ej.

Adaptador de alimentación de 12 V~/20 W con conector hueco (562 791 para 230 V~ ó 562 795 para 115 V~)

ó
Transformador 6 V/12 V; 30 W — 562 73
ó
Fuente de alimentación de 450 V– — 522 27

Multímetro para tensiones continuas ≤ 10 V–, por ej.

Aparato de medida AV — 531 94
ó
Multímetro METRAmax 2 — 531 100
ó
Registrador por ej. — 575 663

Fuente de tensión continua para el circuito de medición, en el que va a medir la tensión, corriente o carga; (véase también la sección 1)

Fuente de tensiones bajas por ej. — 521 35
ó
para tensiones no peligrosas al contacto ≥ 42 V:
Fuente de alimentación de 450 V– — 522 27
ó
Par de varillas de frotación — 541 00

Varilla de conexión — 532 16

Resistencias STE de alto ohmiaje y condensadores STE. Véase las secciones 3.2, 3.3 y 3.4.

3.2 Mesure de tensions

*3.2.1 Mesure quasi-statique de tensions jusqu'à 10 V–
(cf. fig. 2.1)*

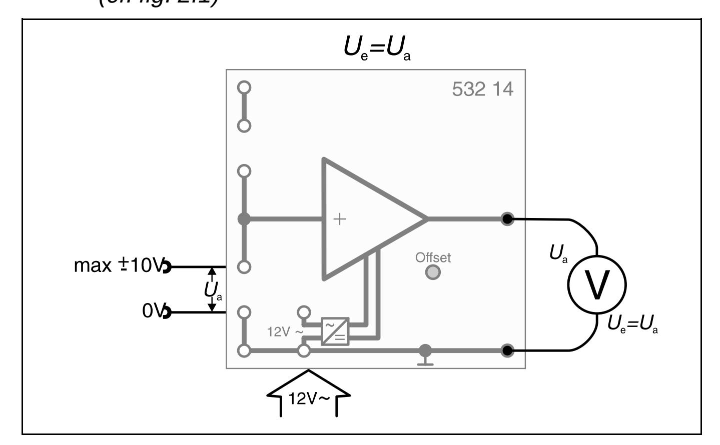


Fig .2.1
Mesure quasi-statique de tensions jusqu'à 10 V–
Medición cuasi-estática de tensiones de hasta 10 V–

3.2.2 Mesure fortement ohmique de tensions de plus de 10 V–

Principe (cf. fig. 2.2):

On divise la tension totale à mesurer avec un diviseur de tension ohmique R_1, R_2. On obtient:

$$U_0 = U_1 + U_2 \quad (1)$$

U_1 étant la tension d'entrée de l'amplificateur U_e.

On a

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad (2)$$

ou

$$U_1 = \frac{R_1}{R_2} \cdot U_2 \quad (3.1)$$

et

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1} \cdot U_1 \quad (3.2)$$

Si R_1 est petit comparé à R_2 et que, à cause de (2) U_1 est faible par rapport à U_2, on peut négliger U_1 dans (1). Il en résulte à partir de (1) en tenant compte de (3.2) et de l'équation $U_1 = U_e = U_a$

$$U_0 \approx U_2$$

$$\approx U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} = U_a \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

Important:
Choisir les résistances de telle sorte que la chute de tension à R_1 ne dépasse pas 10 V.

Résistances STE nécessaires:

1 MΩ (577 76)
10 MΩ (577 78)
100 MΩ (577 00)
1 GΩ (577 02)
10 GΩ (577 03)

3.2 Medición de tensión

*3.2.1 Medición cuasi-estática de tensiones de hasta 10 V–
(véase la Fig. 2.1)*

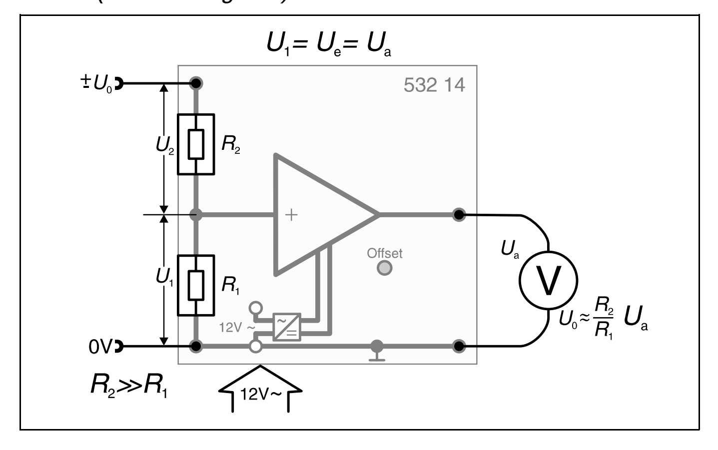


Fig. 2.2
Mesure fortement ohmique de tensions supérieures à 10 V
Medición de alto ohmiaje de tensiones de más de 10 V–

3.2.2 Medición de alto ohmiaje de tensiones de más de 10 V–

Principio (véase la Fig. 2.2):

La tensión total a medir

$$U_0 = U_1 + U_2 \quad (1)$$

se divide a través de un divisor de tensión óhmico R_1, R_2; en donde U_1 es la tensión de entrada de amplificador U_e.
Como:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad (2)$$

ó

$$U_1 = \frac{R_1}{R_2} \cdot U_2 \quad (3.1)$$

y

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1} \cdot U_1 \quad (3.2)$$

Si R_1 es pequeña frente a R_2, entonces como se puede ver en la ecuación (2), U_1 es pequeña respecto a U_2, esto significa que se podrá despreciar U_1 en la ecuación (1). Con ello se deduce de (1), considerando (3.2) y la igualdad $U_1 = U_e = U_a$ que:

$$U_0 \approx U_2$$

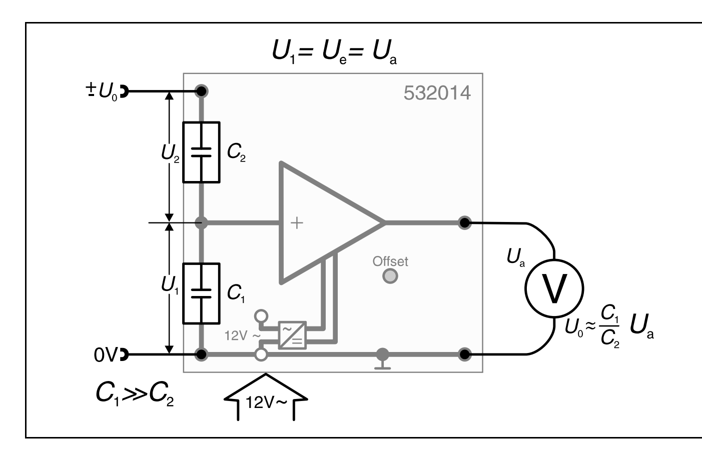
$$\approx U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} = U_a \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

Importante:
Elegir las resistencias, de manera que la caída de tensión en R_1 no sea superior a 10 V.

Resistencias STE requeridas:

1 MΩ (577 76)
10 MΩ (577 78)
100 MΩ (577 00)
1 GΩ (577 02)
10 GΩ (577 03)

3.2.3 Mesure quasi-statique de tensions de plus de 10 V



Principe (cf. fig. 2.3):
De façon analogue au diviseur de tension ohmique (paragraphe 3.1.2), en tenant compte de $C = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$ on a:

$$U_1 = \frac{C_2}{C_1} \cdot U_2$$

et

$$U_2 = \frac{C_1}{C_2} \cdot U_1$$

Avec $C_1 \gg C_2$ on a pour la tension totale

$$U_0 = U_1 + U_2 \qquad \text{avec } U_1 \ll U_2$$

$$U_0 = U_2$$

$$U_0 = U_1 \cdot \frac{C_1}{C_2}$$

$$= U_a \cdot \frac{C_1}{C_2}$$

Important:
Choisir les condensateurs de telle sorte que la chute de tension à C_1 ne dépasse pas 10 V. N'utiliser pour C_2 que des condensateurs de rigidité diélectrique adaptée; tenir compte de l'inscription dont ils sont pourvus!

Condensateurs STE nécessaires:

100 pF, 630 V	(578 22)
1 nF, 630 V	(578 25)
10 nF, 100 V	(578 10)
100 nF, 100 V	(578 31)
1 µF, 100 V	(578 15)

3.3 Mesure de courants

Principe (cf. fig. 3):

On obtient une chute de tension U_e à R lorsqu'un courant I traverse la résistance R. D'après la loi d'Ohm:

$$U_e = R \cdot I$$

La chute de tension U_e à R caractérise donc l'intensité du courant I:

$$I = \frac{U_e}{R}$$

Comme $U_e = U_a$, cette relation est également valable pour la tension de sortie U_a:

$$I = \frac{U_a}{R}$$

3.2.3 Medición cuasi-estática de tensiones de más de 10 V

Fig .2.3
Mesure quasi-statique de tensions supérieures à 10 V
Mediciones cuasi-estáticas de tensiones de más de 10 V

Principio (véase la Fig. 2.3):
Análogamente al divisor de tensión óhmico (sección 3.1.2) y considerando $C = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$ se obtiene:

$$U_1 = \frac{C_2}{C_1} \cdot U_2$$

y

$$U_2 = \frac{C_1}{C_2} \cdot U_1$$

Con $C_1 \gg C_2$ para la tensión total se tiene:

$$U_0 = U_1 + U_2 \qquad \text{con } U_1 \ll U_2$$

$$U_0 = U_2$$

$$U_0 = U_1 \cdot \frac{C_1}{C_2}$$

$$= U_a \cdot \frac{C_1}{C_2}$$

Importante:
Elegir los condensadores, de manera que la caída de tensión en C_1 no sea superior a 10 V; para C_2 emplear solo condensadores con una rigidez dieléctrica apropiada. ¡Observe la impresión en los mismos!

Condensadores STE requeridos:

100 pF, 630 V	(578 22)
1 nF, 630 V	(578 25)
10 nF, 100 V	(578 10)
100 nF, 100 V	(578 31)
1 µF, 100 V	(578 15)

3.3 Medición de corriente

Principio (véase la Fig. 3):

Si por la resistencia R fluye una corriente I, entonces en R se tiene una tensión U_e. Según la ley de Ohm se tiene que:

$$U_e = R \cdot I$$

Es decir, la caída de tensión U_e en R es una medida de la intensidad de corriente I:

$$I = \frac{U_e}{R}$$

Como $U_e = U_a$, esta relación también es válida para la tensión de salida U_a:

$$I = \frac{U_a}{R}$$

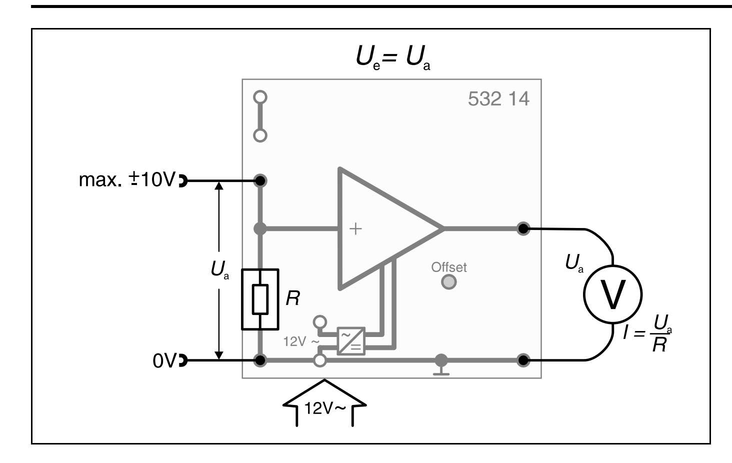


Fig. 3

Mesure du courant

Medición de corriente

Résistances STE nécessaires pour la mesure du courant:



No° de cat.	Résistance	I pour U_1 = 1 V
577 76	1 MΩ	10^{-6} A
577 78	10 MΩ	10^{-7} A
577 00	100 MΩ	10^{-8} A
577 02	1 GΩ	10^{-9} A
577 03	1 GΩ	10^{-10} A

Tableau 1

3.4 Mesure de charges

Principe (cf. fig. 4):

La relation entre la charge Q et la tension U d'un condensateur de capacité C est la suivante:

$$Q = C \cdot U_2$$

Comme $U_e = U_a$, la tension de sortie U_a caractérise la charge Q:

$$Q = U_a \cdot C$$

Condensateurs STE nécessaires:

No° de cat.	Capacité	Q pour U_A = 1 V
578 15	1 µF	10^{-6} As
578 31	100 nF	10^{-7} As
578 10	10 nF	10^{-8} As
578 25	1 nF	10^{-9} As

Tableau 2

Pour l'étude quantitative des charges en électrostatique il est conseillé d'utiliser la cage de Faraday (546 12) fixée sur une fiche (p.ex. de 340 89); pour obtenir la charge globale, plonger le corps d'essai - par ex. une tige frottée - dans l'espace sans chanp de la cage.

3.5 Compensation d'offset

Une tension dite d'offset ou de décalage qui apparaît dans de très rares cas à la sortie de l'amplificateur, lorsque son entrée est court-circuitée (U_e = 0), peut être compensée à zéro en tournant le potentiomètre à vis ④.

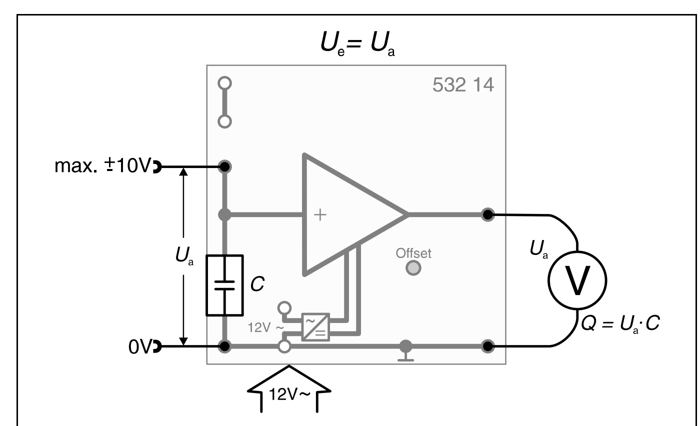


Fig. 4

Mesure de la charge

Medición de carga

Resistencias STE requeridas para la medición de corriente:

Cat. No.	Resistencia	I para U_a = 1 V
577 76	1 MΩ	10^{-6} A
577 78	10 MΩ	10^{-7} A
577 00	100 MΩ	10^{-8} A
577 02	1 GΩ	10^{-9} A
577 03	1 GΩ	10^{-10} A

Tabla 1

3.4 Medición de carga

Principio (véase la Fig. 4):

Entre la carga Q y la tensión U de un condensador de capacidad C existe la siguiente relación:

$$Q = C \cdot U_2$$

Como $U_e = U_a$, la tensión de salida U_a es una medida de la carga Q:

$$Q = U_a \cdot C$$

Condensadores STE requeridos:

Cat. No.	Capacidad	Q para U_A = 1 V
578 15	1 µF	10^{-6} As
578 31	100 nF	10^{-7} As
578 10	10 nF	10^{-8} As
578 25	1 nF	10^{-9} As

Tabla 2

Para el estudio cuantitativo de cargas en la electrostática es recomendable emplear el vaso de Faraday (546 12), el cual se debe enchufar a un conector (por ej. de 340 89); sumergir en el vaso el cuerpo de experimentación, por ej. una varilla frotada, para registrar toda su carga como se ilustra la figura 5, en el espacio sin campo del vaso.

3.5 Compensación Offset

La compensación a cero de la llamada tensión offset o de compensación, que algunas veces puede presentarse en la salida del amplificador cuando la entrada de amplificador está cortocircuiteada (U_e = 0), se realiza accionando el potenciómetro ④.

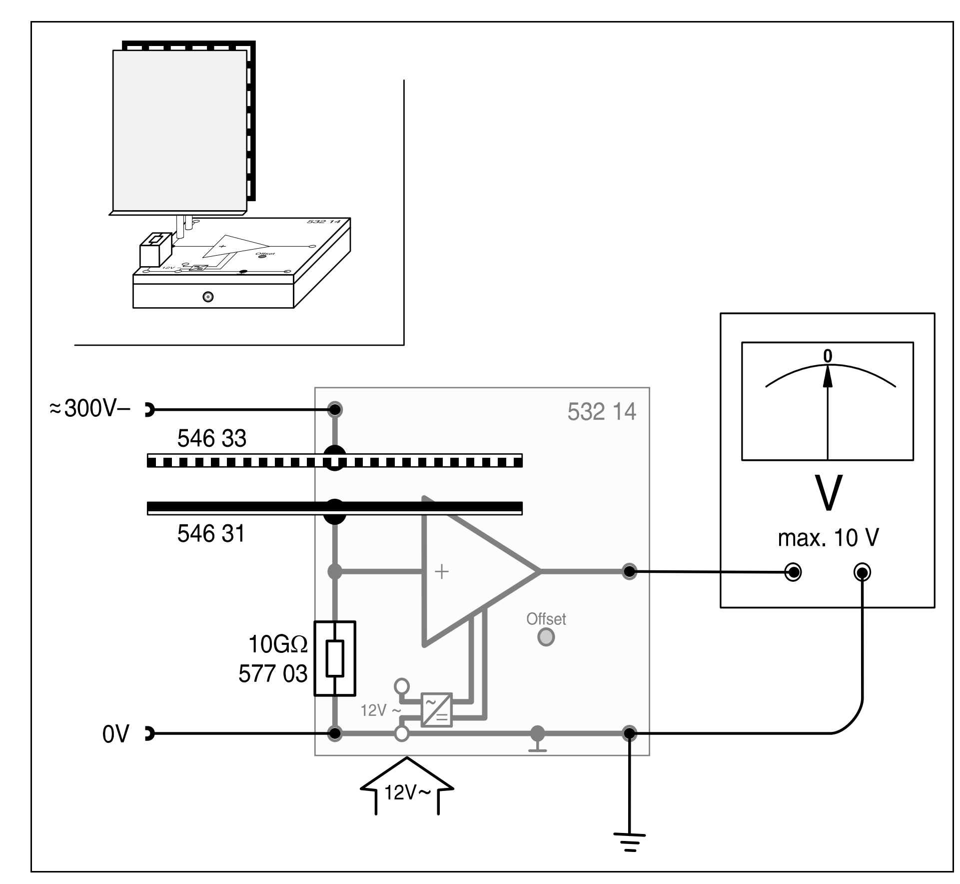


Fig. 5

Dispositif pour la démonstration de l'effet ionisant de gaz enflammés ou de rayonnements alpha, placés dans une chambre d'ionisation ouverte composée d'une plaque de zinc (546 31) et d'une électrode-grille (546 33).

Arreglo experimental para la verificación del efecto ionizante de los gases de llama o de la radiación α introducidos en una cámara de ionización montada con una placa de cinc (546 31) y un electrodo de rejilla (546 33)

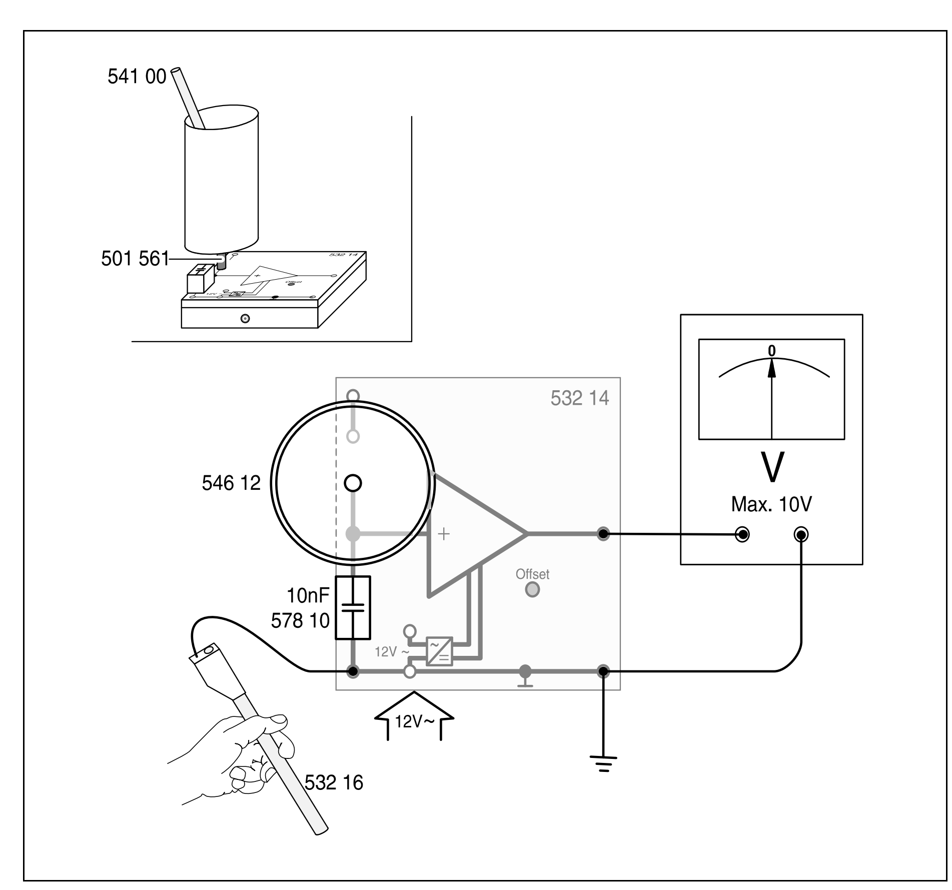


Fig. 6

Dispositif pour mesurer la charge en électrostatique.
Important: Relier l'expérimentateur à la masse de l'appareil (potentiel de référence) avec la tige de raccordement (532 16).

Arreglo experimental para la medición de la carga en la electrostática.
Importante: ¡Conectar al experimentador con la masa del aparato (potencial de referencia) a través de la varilla de conexión (532 16)!